Sensitivity classification of agricultural land to long-term acid precipitation in Eastern Canada

Agriculture Canada

Research Branch

Direction générale de la recherche

Sensitivity classification of agricultural land to long-term acid precipitation in Eastern Canada

C. Wang and D. R. Coote

Land Resource Research Institute

Research Branch
Agriculture Canada
1981

Land Resource Research Institute
Contribution No. 98

Copies of this publication are available from:
Land Resource Research Institute
Research Branch, Agriculture Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0C6
©Minister of Supply and Services Canada 1981

SUMMARY

The sensitivity of agricultural soil to long-term acid precipitation is classified according to the level of exchangeable bases in the plow layer. It is suggested that a soil with less than 6 meq/100 g of exchangeable bases is sensitive, one with 6–15 meq/100 g is moderately sensitive, and one with more than 15 meq/100 g is nonsensitive. The rationale of this classification is discussed.

A field guide for determining soil sensitivity classes to acid precipitation is proposed based on soil clay content and soil pH (in water). The proposal is based on the assumption of relatively narrow variation in clay mineral species and in average organic matter content of large blocks of agricultural land in Eastern Canada.

Methodology for compiling the map showing the sensitivity of agricultural land to long-term acid precipitation in Eastern Canada is outlined.

per year. The highest level of acid precipitation occurs in southwestern Ontario and along the St.Lawrence valley in Quebec.

In Canadian soils the plow layer is about 15 cm thick. If it is assumed that the bulk density of the plow layer is 1.3 g/cm^3, and that 60 kg/ha per year of $CaCO_3$ equivalent is the maximum acid input, in 25 years a given soil in Eastern Canada could receive a maximum of 1.5 meq/100 g of acid from the atmosphere. If the loss of 10-25% of exchangeable bases in the plow layer is significant (McFee 1980), three soil sensitivity classes to acid precipitation can be defined:

- Sensitive - soil exchangeable bases are less than 6 meq/100 g soil (or more than 25% of exchangeable bases could be depleted in 25 years).
- Moderately sensitive - soil exchangeable bases are 6-15 meq/100 g soil (or 10-25% of exchangeable bases could be depleted in 25 years).
- Nonsensitive - soil exchangeable bases exceed 15 meq/100 g soil (or less than 10% of exchangeable bases could be depleted in 25 years).

EXCHANGEABLE BASES AS THE CRITERION FOR SENSITIVITY CLASSIFICATION

Exchangeable bases in a soil reflect the soil's capacity to neutralize the acid added by precipitation. The more exchangeable bases there are, the greater will be the neutralization capacity of the soil, and the less will be the influence of acid precipitation on soil pH.

McFee (1980) suggested the use of cation exchange capacity (CEC) as a criterion for soil sensitivity classification. He estimated that if the acid input from 100 cm of precipitation per year at pH 3.7 was, after 25 years, equal to 10-25% of CEC in the top 25 cm of soil, then there would be a significant effect on the soil. He calculated that a soil with a CEC of 6.2-15.4 meq/100 g in its top 25 cm would be slightly sensitive; if the CEC was greater than 15.4 meq/100 g the soil would be nonsensitive; if the CEC was less than 6.2 meq/100 g the soil would be sensitive.

However, CEC alone does not adequately reflect the acid buffer capacity of a soil, which is positively related to exchangeable bases plus bases in the soil solution plus potential bases that can be released from the solid phase of a soil. These three components are in equilibrium in a natural soil system, as illustrated here:

Exchangeable bases $\rightleftharpoons$ bases in solution $\rightleftharpoons$ bases in soil solids

For practical purposes, the acid buffer capacity of a soil can be estimated from exchangeable bases because the amount of bases in the soil solution at a given time is relatively small compared with exchangeable bases, and because the release of bases from soil solids is slow (with the exception of calcareous soil).

CEC is equivalent to the acid buffer capacity of a soil only when CEC equals exchangeable bases. This is seldom the case in most acid soils. For example, a soil with pH 4.5 (in water) can have a CEC of 20 meq/100 g and yet be only about 20% base saturated. This means that it has only 4 meq/100 g acid buffer capacity, not 20 meq/100 g. Consequently, the soil should be classified as sensitive to acid precipitation rather than nonsensitive, as is the case if CEC alone is used as the criterion.

ESTIMATION OF EXCHANGEABLE BASES

In calcareous surface soil (soil with free carbonates), exchangeable bases are high relative to the CEC and in such a soil the soil phase can release bases readily. Therefore, regardless of the CEC, it can be assumed that the acid buffer capacity of the calcareous surface soil is greater than 15 meq/100 g and the soil can be considered nonsensitive to acid precipitation.

In noncalcareous surface soil (soil without free carbonates), exchangeable bases are mainly determined by CEC and soil reaction (pH). The CEC is controlled mainly by the amount and type of clay and by the soil organic matter. There is also an interaction between CEC and pH in any given soil. In the pH range of 5.5-7.0 (in water), CEC is positively correlated with pH (Buckman and Brady 1969). The slope of the linear correlation, however, varies with the soil, complicating the prediction of exchangeable bases in noncalcareous soils. Nevertheless, the following assumptions were made in order to permit an estimation of the base status of soils for the purpose of establishing sensitivity classes.

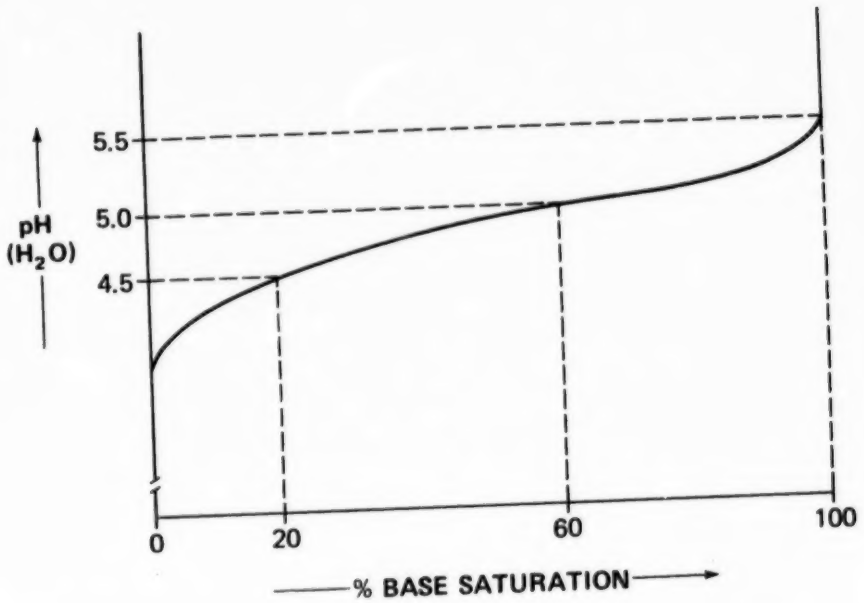
1) Types of clay minerals in surface soils of Eastern Canada are similar. Almost all surface soils in Eastern Canada contain a mixed type of clay (Kodama 1979), which is dominated by vermiculite with some mica, and vermiculite-mica intermediates. In some surface soils, significant amounts of smectite are also present. Quartz and feldspars are always present.

2) The variation of average organic matter content in surface soils, if considered over large blocks of land, is relatively narrow in most of the cultivated land in Eastern Canada, but the variation in individual surface samples of some farmland can be very wide. On a 1:5 000 000 scale map (the scale used on the enclosed map), the minimum delineation (5 mm x 5 mm) is 62 500 ha. We can therefore safely assume that in land blocks of this size, the average organic matter of surface soils does not vary greatly. Furthermore, some of the variation in the average surface organic matter content among the blocks is related to soil texture. Organic matter content usually decreases as the texture becomes coarser (from clay to sand). Since soil texture is used as one of the criteria to estimate the capacity of exchangeable bases in soil, the impact of this variation in organic matter content with texture on the estimation of exchangeable bases is minimized.

With these two assumptions, the variables used in estimating exchangeable bases are soil texture (mainly clay content) and soil pH.

Soil texture is used to estimate CEC and soil pH is used to estimate percent of base saturation. The product of CEC multiplied by percent-base saturation provides a measure of the exchangeable bases in the soil. The relationship between soil pH and base saturation (see Figure) shows that within the narrow range of pH 4.5-5.5, the base saturation changes from 20 to 100% and the percent-base saturation drops sharply below pH 4.5. At pH 5.5 or higher, base saturation is at 100%.

CEC increases with pH in the range of pH 5.5-7.0 due to the so-called "pH dependent exchange capacity". This means that at pH values above 5.5, although the percent of base saturation remains at 100% (see Figure), the exchangeable bases actually increase with pH due to an increase in exchange capacity.



Relationship between soil pH (H_2O) and percent base saturation.

FIELD GUIDE FOR DETERMINING SOIL SENSITIVITY CLASSES

The preceding section showed how soil characteristics measured in the field such as texture and pH in water can be used to estimate exchangeable bases. This section shows how these characteristics are used to classify soils with respect to their sensitivity to long-term acid precipitation.

Noncalcareous agricultural surface soils are subdivided into four classes based on their pH in water: >5.5; 5.0-5.5; 4.5-5.0; and <4.5. These classes were selected for the following reasons. At pH 5.5 and above, the exchange complex of the soil is usually saturated with exchangeable base (see Figure); at pH 5.0, base saturation is about 60%; and at pH 4.5, base saturation is about 20%. On the basis of clay content, soils are subdivided into three classes: sandy, less than 10% clay; loamy, 10-35% clay; and clayey, more than 35% clay. These terms and definitions are commonly used in soil survey operations and reports, and the classes are broad enough to be readily determined in the field by hand texturing. For most cultivated surface soils, the permanent charge CEC for various texture classes is clayey, 25-40 meq/100 g; loamy, 10-25 meq/100 g; and sandy, 2-10 meq/100 g. Combining the data in the Figure and the information on the relationship between soil texture and CEC provides a field guide for determining soil sensitivity to acid precipitation (Table 1). For example, a loamy soil with a pH between 5.0 and 5.5 should have at least 6 meq exchangeable bases/100 g (60% of 10 meq/100 g CEC), and is therefore classified as moderately sensitive.

TABLE 1. Field guide for determining soil sensitivity to acid precipitation

Sensitivity class	Soil characteristics*
Nonsensitive	All calcareous soils Clayey pH >5.0 Loamy pH >5.5
Moderately sensitive	Sandy pH >5.5 Clayey pH 4.5-5.0 Loamy pH 5.0-5.5
Sensitive	Clayey pH <4.5 Loamy pH <5.0 Sandy pH <5.5

*Plow layer (about 15 cm thick). Also assume liming is not part of regular soil management practice. Soil pH is measured in water.

COMPILATION OF THE MAP

Information for the map compilation was obtained from the following sources:

CanSIS*

a. Areal information at the scale of 1:5 000 000 was obtained for soil classification, subsoil reaction, and parent material texture.

b. Point information (profile description and analytical data associated with a described profile having a location on a map but no polygon) on surface texture, surface pH, organic content, and clay mineralogy. There are relatively few profile descriptions for cultivated soils.

Published soil survey reports and interim reports

Detailed areal information on surface texture and soil classification, as well as some soil surface pH data on an areal basis. Point information on CEC and exchangeable bases was available in many of the reports.

Provincial soil testing laboratories

Average surface soil pH values of farmland on a county basis were available for Ontario, Quebec, Nova Scotia, New Brunswick, and Prince Edward Island.

The following procedures were used:

1. A base map on a scale of 1:5 000 000 with delineations based on soil parent material texture for cultivated land of Eastern Canada was provided by CanSIS.
2. The delineations were compared with available soil survey reports and available point information from CanSIS.
3. Texture of the plow layer was determined mainly by the surface texture indicated on available soil maps. Parent material texture was used to determine the texture of the plow layer where soil maps were not available.
4. In steps 2 and 3, surface texture delineations were formed by either subdividing or combining the delineations of the parent material texture map.
5. Surface soil pH of each delineation of the surface texture map was assigned according to the average surface soil pH of farmland on a county basis obtained from provincial soil testing laboratories. Where soil testing data were not available, point information on surface pH from both CanSIS and soil survey reports was used to estimate the surface soil pH.
6. With the information on texture and pH of the surface layer or plow layer of each delineation, sensitivity classes were assigned to each delineation according to the guidelines in Table 1.

---

*Canadian Soil Information System, developed and managed by Land Resource Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa.

DISCUSSION

General information from the enclosed map is summarized in Table 2. With the exception of Prince Edward Island, much of the agricultural land in Eastern Canada is nonsensitive to acid precipitation.

Soil management practices were not considered in the preparation of the map. In properly managed farmland, farmers periodically apply lime to maintain the desired soil pH. In such instances, the amount of acid received from acid precipitation will usually be insignificant compared to the amount of lime normally used.

Sandy soils, such as those often used for blueberry, strawberry, tobacco, and potato crops, can be sensitive to acid precipitation due to their relatively low acid buffer capacity and low pH. Consequently, good management of sandy soils is required.

Nitrogen fertilizer applications frequently contribute acidity to soils (Penny and Henry 1976) at rates which can be as much as ten times that which may come from acid precipitation. Therefore, acidity development in sensitive soils is more likely if high rates of nitrogen fertilizer are applied. For example, most of the potato land of Prince Edward Island is on noncalcareous sandy soils and high rates of nitrogen fertilizer are used. It is essential to use the proper amount of lime in these sandy soils to maintain the desired level of pH or they will be depleted of exchangeable bases, and their productivity will be reduced due to lack of nutrients.

At the scale of 1:5 000 000, the map should be used only to provide general information for relatively large land areas. It should not be used at the individual farm level. For smaller sections of land or for individual farms, soil sensitivity classes to acid precipitation can be estimated according to the guidelines in Table 1, following hand texturing of the soil and measurement of soil pH (in water).

Acidity development in soils is not simply the result of fertilizer applications and acid precipitation. Other acid sources are carbonic acid produced by the roots of plants; organic acid produced from the decomposition of organic matter in soil; and nitrate produced in fallowed agricultural land (Bache 1979).

Most agricultural land in Eastern Canada seems to have a considerable amount of acid buffer capacity. It is important, however, to have a proper liming program to maintain soil pH at the optimum level for a particular crop and to prevent soil acidification regardless of source.

ACKNOWLEDGMENT

We are grateful to Drs. McKeague, Halstead, and Singh of Agriculture Canada, Research Branch, for valuable discussions during the preparation of this report. We thank Mrs. Lendvay-Zwickl and Mr. Leuty for providing information from the CanSIS file; and Dr. Beke, Mr. MacDougall, and Mr. Cossette of the Soil Survey of Canada, and the provincial soil testing laboratories of Prince Edward Island, Nova Scotia, New Brunswick, Quebec, and Ontario for providing summaries of their surface soil pH data for agricultural land.

TABLE 2. Area of each sensitivity class for the agricultural land in Eastern Canada

	Total agricultural land *	Sensitive area		Moderately sensitive area		Nonsensitive area	
	hectares	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Newfoundland	29 423	4 660	15.8	5 885	20.0	18 878	64.2
Nova Scotia	400 249	16 290	4.1	72 008	18.0	311 951	77.9
Prince Edward Island	278 050	215 443	77.5	62 607	22.5	None	0
New Brunswick	402 328	38 652	9.6	136 724	34.0	226 952	56.4
Quebec	3 654 134	916 666	25.1	125 313	3.4	2 612 155	71.5
Ontario	5 966 816	561 728	9.4	1 012 734	17.0	4 392 354	73.6
Eastern Canada	10 731 000	1 753 439	16.3	1 415 271	13.2	7 562 290	70.5

*Improved farmland in 1976 agriculture census.

REFERENCES

Atmospheric Environmental Service. CANSAP Data Summary. Environment Canada, Downsview, Ont. (quarterly). 1977-79.

Bache, B. W. The acidification of soils. Pages 183-202 in T. C. Hutchinson, ed. Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Proceedings of NATO Adv. Res. Inst. Conf., Toronto, Canada. 1979.

Buckman, H. O.; Brady, N. C. The nature and properties of soils. 7th ed. The Macmillan Company, N.Y. 1969.

Forest Service. Workshop report on acid precipitation and the forest ecosystem. USDA Forest Service General Tech. Rep. NE-26; 1976.

Glass, N. R.; Glass, G. E.; Rennie, P. J. Effects of acid precipitation in North America. Environ. Sci. Technol., 13(11):1350-1355; 1979.

Glass, G. E.; Loucks, O. L., editors. Impacts of air pollutants on wilderness areas of northern Minnesota. U.S. EPA Ecol. Res. Series (in press). 1980.

Kodama, H. Clay minerals in Canadian soils: their origin, distribution and alteration. Can. J. Soil Sci., 59:37-58; 1979.

Lee, J. J.; Needly, G. D.; Perrigan, S. C. Sulfuric acid rain effects on crop yields and foliar injury. U.S. EPA Rep. No. 600/3-80-016; 1980.

Lee, J. J.; Webber, D. E. Effects of sulfuric acid rain on two model hardwood forests. U.S. EPA Rep. No. 600/3-80-014; 1980.

McFee, W. W. Sensitivity of soil regions to long term acid precipitation. U.S. EPA Rep. No. 600/3-80-013; 1980.

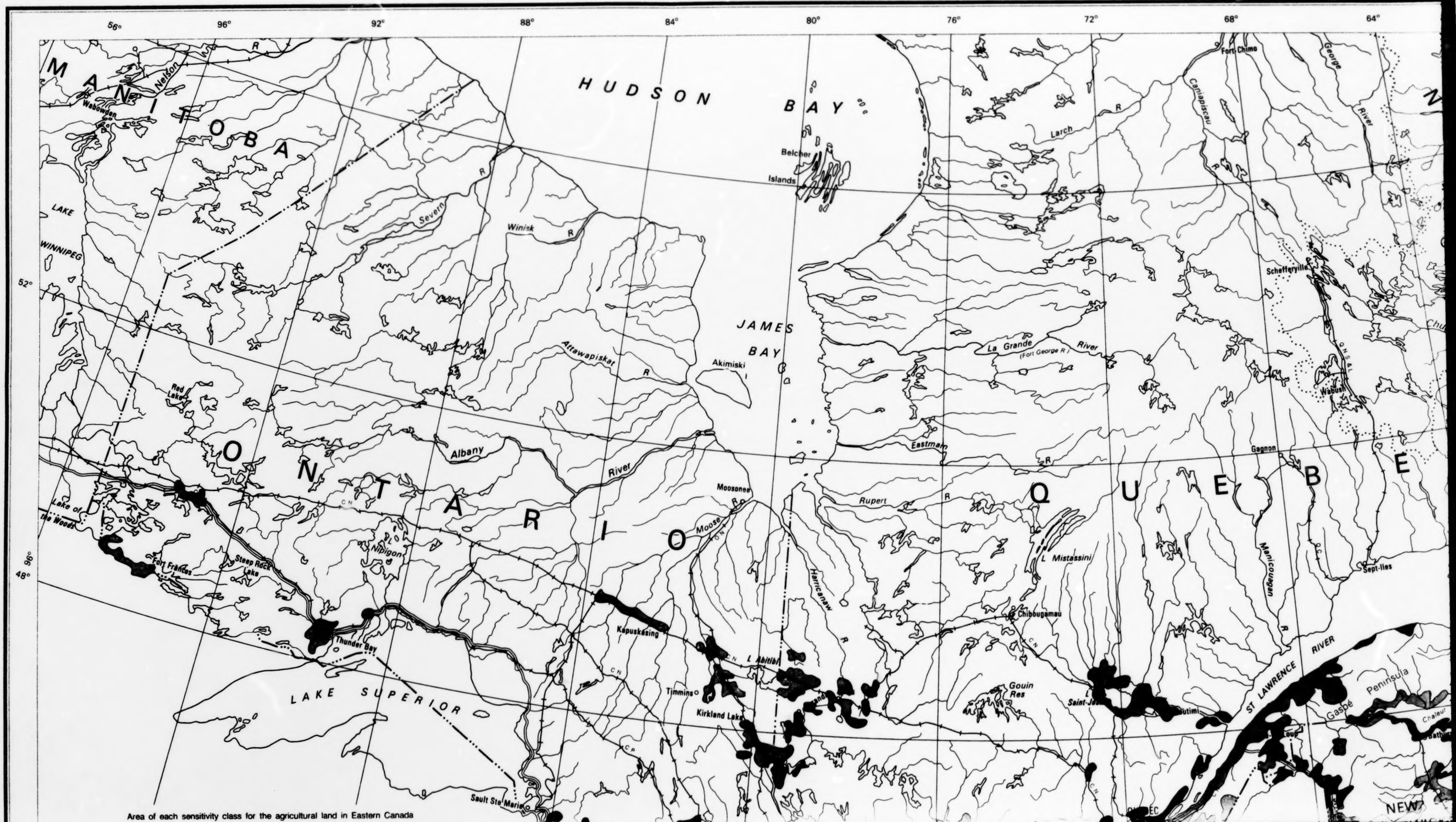
Mohamed, M. B. Response of vegetable crops to acid rain under field and simulated conditions; 1978. Ph.D. Thesis, Cornell University; (unpublished).

Penney, D. C.; Henry, J. L. Reaction of fertilizer N with soil components. Western Can. Nitrogen Symp., Proc. Alta. S.S. Workshop, Calgary, Jan., pp. 275-298; 1976.

Rennie, P. J.; Halstead, R. L. The effects of sulfur on plants in Canada. Pages 69-179 in Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. Natl. Res. Counc. Can. NRCC No. 15015; 1977.

Whelpdale, D. M. Regional-scale measurements of precipitation composition and deposition. Atmos. Environ. Service, Downsview, Ont. (presented at) WMO Conf., Boulder, Colorado, USA, Aug. 20-24; 1979.

Whelpdale, D. M.; Galloway, J. N. An atmospheric sulphur budget for North America. Atmos. Environ. Service, Downsview, Ont. (presented at) WMO Conf., Sofia, Bulgaria, Oct. 1-4; 1979.



Area of each sensitivity class for the agricultural land in Eastern Canada

Total agricultural	Sensitive	Moderately	Non sensitive

SENSITIVITY OF AGRICULTURAL LAND* TO LONG-TERM ACID PRECIPITATION

EASTERN CANADA

SCALE 1:5,000,000

Miles 100 0 100 200 Miles

Kilometres 100 0 100 200 300 Kilometres

80° 76° 72° 68° 64° 60° 56° 52° 56°

52°

48°

52°

ON BAY

JAMES BAY

Belcher Islands

Akimiski I.

Fort Chimo

George River

Caniapiscau R.

Larch R.

Nain

Hopedale

NEWFOUNDLAND COAST OF LABRADOR

Str of Belle Isle

Schefferville

Churchill R.

Wabush

La Grande (Fort George R.) River

Eastmain R.

Gagnon

Romaine R.

Moosonee

Moose R.

Rupert R.

L Mistassini

Manicouagan R.

Sept-Iles

Anticosti Island

Chibougamau

Harricanaw R.

L Abitibi

Kirkland Lake

Gouin Res

L Saint-Jean

Gaspé Peninsula

Chaleur Bay

Bathurst

ST LAWRENCE RIVER

GULF OF ST LAWRENCE

Magdelen Islands

Cabot Strait

PRINCE EDWARD ISLAND

Cape Breton Island

Corner Brook

Buchans

Grand Falls

ISLAND OF NEWFOUNDLAND

ST. JOHN'S

Great Miquelon (France)

Little Miquelon

QUEBEC

Area of each sensitivity class for the agricultural land in Eastern Canada

	Total agricultural land*	Sensitive area		Moderately sensitive area		Non sensitive area	
	hectares	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Newfoundland	29,423	4,660	15.8	5,885	20.0	18,878	64.2
Nova Scotia	400,249	16,290	4.1	72,008	18.0	311,951	77.9
P.E.I.	278,050	215,443	77.5	62,607	22.5	0	0.0
New Brunswick	402,328	38,652	9.6	136,724	34.0	226,952	56.4
Quebec	3,654,134	916,666	25.1	125,313	3.4	2,612,155	71.5
Ontario	5,966,816	561,728	9.4	1,012,734	17.0	4,392,354	73.6
Total	10,731,000	1,753,439	16.3	1,415,271	13.2	7,562,290	70.5

* Improved farm land in 1976 agriculture census.

Soil information compiled by C. Wang, Land Resource Research Institute, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa. The cultivated land areas shown were generalized from data at scale 1:50,000 by Claire Gosson, Geographical Services Directorate, Survey and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Map compiled and drawn by Cartography Section, Land Resource Research Institute, Research Branch, Agriculture Canada. Printed by the Map Reproduction Centre, Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1981.

ONTARIO

QUEBEC

LAKE SUPERIOR

LAKE HURON

LAKE ONTARIO

LAKE ERIE

Albany River

Eastmain R

Gagnon

Rupert R

Moosonee

Moose R

Lake of the Woods

Fort Frances

Steep Rock Lake

Nipigon

Thunder Bay

Kapuskasing

Harricanaw R

L Mistassini

Chibougamau

Manicouagan R

Sept-Iles

Timmins

Kirkland Lake

L Abitibi

Gouin Res

ST LAWRENCE RIVER

Gaspé Peninsula

Sault Ste Marie

Elliot Lake

Ottawa R

Manitoulin Island

Georgian Bay

Bancroft

St Lawrence R

Sarnia

NEW BRUNSWICK

Bay of Fundy

96°

48°

44°

92°

88°

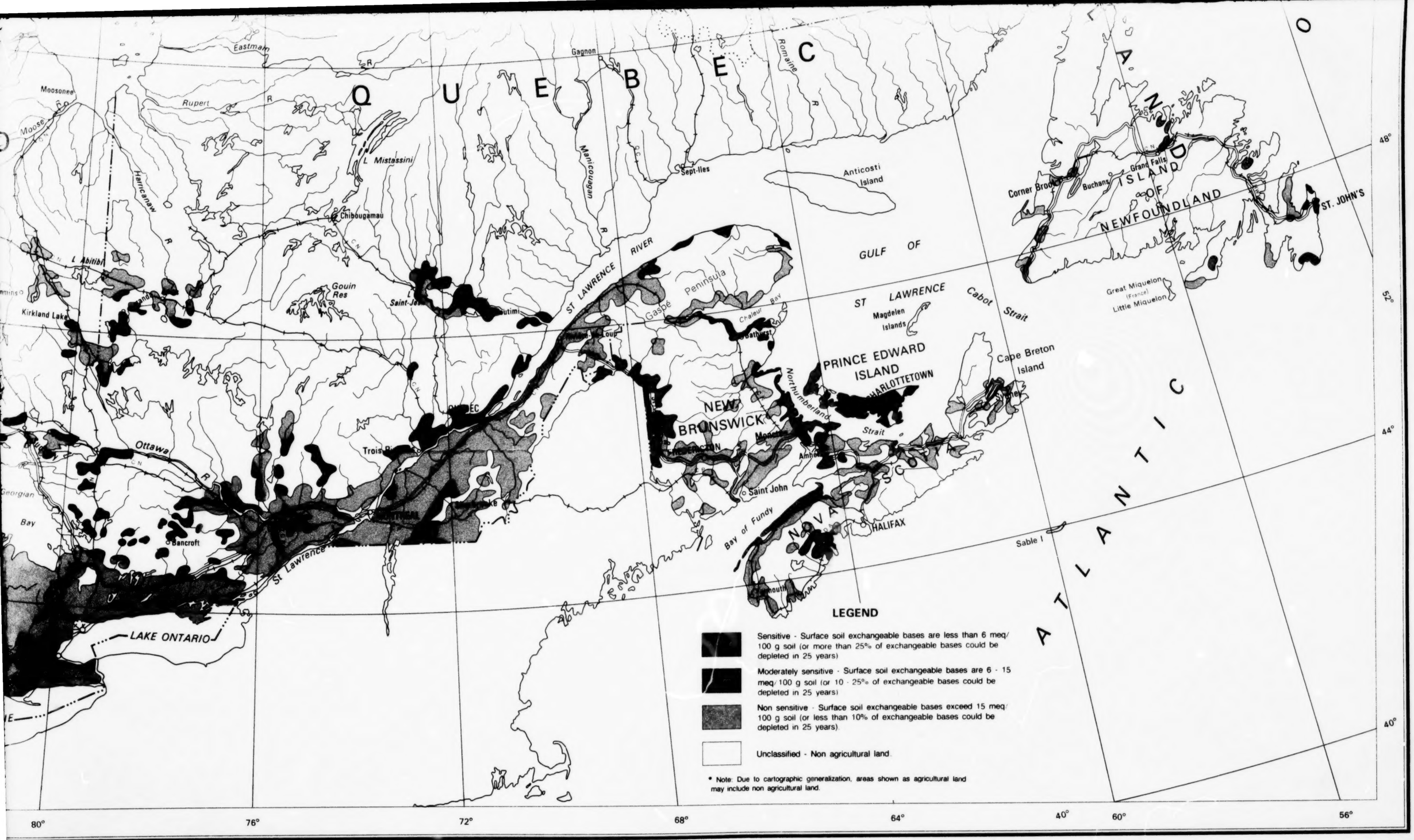
84°

80°

76°

72°

68°



LEGEND

Sensitive - Surface soil exchangeable bases are less than 6 meq/ 100 g soil (or more than 25% of exchangeable bases could be depleted in 25 years)

Moderately sensitive - Surface soil exchangeable bases are 6 - 15 meq/ 100 g soil (or 10 - 25% of exchangeable bases could be depleted in 25 years)

Non sensitive - Surface soil exchangeable bases exceed 15 meq/ 100 g soil (or less than 10% of exchangeable bases could be depleted in 25 years).

Unclassified - Non agricultural land.

* Note: Due to cartographic generalization, areas shown as agricultural land may include non agricultural land.

Classes de sensibilité des terres agricoles à l'action prolongée des précipitations acides dans l'est du Canada

Agriculture Canada
Direction générale de la recherche
Research Branch

Classes de sensibilité des terres agricoles à l'action prolongée des précipitations acides dans l'est du Canada

C. Wang et D.R. Coote

Institut de recherches sur les terres

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1981

Institut de recherches sur les terres
Communication nº 98

On peut obtenir des exemplaires de cette publication à
Institut de recherches sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1981

RÉSUMÉ

Les auteurs classifient les sols agricoles selon leur sensibilité à l'effet prolongé des précipitations acides en fonction du niveau de bases échangeables présentes dans la couche arable. Un sol contenant moins de 6 méq de bases par 100 g est considéré comme sensible. Des valeurs de 6 à 15 méq désignent un sol moyennement sensible et une concentration de plus de 15 méq classe un sol comme non sensible. La logique de cette classification est remise en question.

On propose ici un guide de terrain pour la détermination des classes de sensibilité en fonction de la teneur en argile et du pH du sol (dans l'eau). La proposition prend comme hypothèse de départ l'existence d'un écart relativement étroit dans la composition minéralogique de l'argile et dans la teneur moyenne en matière organique des sols sur de vastes étendues de terres agricoles de l'est du Canada.

Les auteurs exposent la méthode utilisée pour la mise en carte des classes de sensibilité.

INTRODUCTION

Les précipitations acides, sous forme de pluie, de neige ou de retombées sèches, sont un phénomène largement reconnu en Amérique du Nord (Glass et al., 1979) et on sait aussi que le problème ne se limite pas au voisinage immédiat des sources d'émission. L'accroissement de l'acidité des précipitations a été signalé dans des contrées éloignées du nord du Minnesota (Glass et Loucks, 1980), du nord-est des États-Unis et du sud du Canada (Whelpdale, 1979).

On peut se procurer de nombreux comptes rendus de recherches, tant aux États-Unis qu'au Canada, qui attestent des effets néfastes causés par les précipitations acides sur les forêts et les cultures (Service des forêts, 1976; Lee et al., 1980; Lee et Webber, 1980; Mohamed, 1978; Rennie et Halstead, 1977). Bien qu'il y ait relativement peu d'études sur la sensibilité des sols aux précipitations acides, McFee, en 1980, a présenté une excellente revue bibliographique sur le sujet. Il propose en outre une méthode de classification de la sensibilité aux effets prolongés des précipitations acides pour les sols de l'est des États-Unis. Au Canada, aucune classification de cette envergure n'avait encore été entreprise.

Ces dernières années, la Direction générale de la recherche d'Agriculture Canada entreprenait une évaluation des incidences éventuelles de l'exposition prolongée aux précipitations acides sur les terres agricoles du Canada, en particulier de l'est du pays. Cet intérêt particulier pour l'Est se justifie par le pouvoir neutralisant qui est relativement plus faible dans les sols de cette région.

À partir des données pédologiques existantes qui concernent les teneurs en bases échangeables et partant d'hypothèses bâties sur le niveau actuel de connaissance de la science du sol, nous avons mis au point une méthode pratique d'évaluation de la sensibilité des sols aux précipitations acides. La démarche part du pH du sol dans l'eau et de sa texture pour estimer les concentrations en bases échangeables, lesquelles servent ensuite à classer les terres par ordre de sensibilité aux précipitations acides.

Une carte indiquant la sensibilité des terres agricoles aux effets prolongés des précipitations acides dans l'est du Canada ainsi qu'une description de la méthode cartographique utilisée, accompagnent le bulletin.

INTRODUCTION

Les précipitations acides, sous forme de pluie, de neige ou de retombées sèches, sont un phénomène largement reconnu en Amérique du Nord (Glass et al., 1979) et on sait aussi que le problème ne se limite pas au voisinage immédiat des sources d'émission. L'accroissement de l'acidité des précipitations a été signalé dans des contrées éloignées du nord du Minnesota (Glass et Loucks, 1980), du nord-est des États-Unis et du sud du Canada (Whelpdale, 1979).

On peut se procurer de nombreux comptes rendus de recherches, tant aux États-Unis qu'au Canada, qui attestent des effets néfastes causés par les précipitations acides sur les forêts et les cultures (Service des forêts, 1976; Lee et al., 1980; Lee et Webber, 1980; Mohamed, 1978; Rennie et Halstead, 1977). Bien qu'il y ait relativement peu d'études sur la sensibilité des sols aux précipitations acides, McFee, en 1980, a présenté une excellente revue bibliographique sur le sujet. Il propose en outre une méthode de classification de la sensibilité aux effets prolongés des précipitations acides pour les sols de l'est des États-Unis. Au Canada, aucune classification de cette envergure n'avait encore été entreprise.

Ces dernières années, la Direction générale de la recherche d'Agriculture Canada entreprenait une évaluation des incidences éventuelles de l'exposition prolongée aux précipitations acides sur les terres agricoles du Canada, en particulier de l'est du pays. Cet intérêt particulier pour l'Est se justifie par le pouvoir neutralisant qui est relativement plus faible dans les sols de cette région.

À partir des données pédologiques existantes qui concernent les teneurs en bases échangeables et partant d'hypothèses bâties sur le niveau actuel de connaissance de la science du sol, nous avons mis au point une méthode pratique d'évaluation de la sensibilité des sols aux précipitations acides. La démarche part du pH du sol dans l'eau et de sa texture pour estimer les concentrations en bases échangeables, lesquelles servent ensuite à classer les terres par ordre de sensibilité aux précipitations acides.

Une carte indiquant la sensibilité des terres agricoles aux effets prolongés des précipitations acides dans l'est du Canada ainsi qu'une description de la méthode cartographique utilisée, accompagnent le bulletin.

CLASSES DE SENSIBILITÉ

La forme humide des précipitations acides touchant les sols des zones agricoles de l'est du Canada varie entre 20 et 45 kg/ha par an en équivalents de carbonate de calcium ($CaCO_3$), d'après les données sur le pH et la teneur en ammonium des précipitations recueillies par le Service de l'environnement atmosphérique (1977-1979). Ces valeurs sont vraisemblablement trop hautes du fait qu'elles s'appuient, d'une part, sur un taux maximal probable de nitrification de l'ammonium et, de l'autre, sur des taux minimaux d'absorption par les plantes et de dénitrification des nitrates. Les retombées sèches représentent environ 40% des retombées humides selon l'étude des dépôts de soufre (Whelpdale et Galloway, 1979). L'écart des précipitations acides totales pour la zone étudiée varie entre 28 et 63 kg/ha par an. Les plus fortes fréquences de précipitations acides s'observent dans le sud-ouest de l'Ontario et le long de la vallée du Saint-Laurent au Québec.

Dans les sols canadiens, la couche arable a une épaisseur d'environ 15 cm. Si l'on place à 1,3 g/cm^3 la densité apparente de cette couche et à 60 kg/ha par an l'équivalent en $CaCO_3$ des précipitations acides, au bout de 25 ans un sol donné pourrait recevoir un maximum de 1,5 méq de matières acides par 100 g de sol par la voie atmosphérique. Et si la perte de 10 à 25% des bases échangeables de la couche arable est considérée comme un seuil significatif (McFee, 1980), on peut délimiter trois classes de sensibilité des sols.

- Sensible - Moins de 6 méq de bases échangeables par 100 g de sol, c.-à-d. plus de 25% des bases pourraient disparaître en 25 ans.
- Moyennement sensible - Le sol contient de 6 à 15 méq de bases échangeables par 100 g (autrement dit, de 10 à 25% de bases pourraient disparaître en 25 ans).
- Non sensible - Le sol contient plus de 15 méq de bases échangeables par 100 g (moins de 10% des bases disparaîtraient en 25 ans).

CHOIX DES BASES ÉCHANGEABLES COMME CRITÈRE DE CLASSIFICATION

Les concentrations en bases échangeables d'un sol expriment son aptitude à neutraliser l'acidité apportée par les précipitations. Plus il est riche en bases, plus fort sera son pouvoir neutralisant et moindre l'influence des précipitations acides sur le pH du sol.

McFee (1980) proposait l'emploi de la C.É.C. (capacité d'échange cationique) comme critère de classification de la sensibilité des sols. D'après ses calculs, si l'apport d'acide

déposé en un an par 100 cm de précipitations de pH 3,7 varie au bout de 25 ans entre 10 et 25% de la C.É.C. des 25 cm supérieurs du sol, celui-ci peut s'en ressentir de façon significative. Selon le même raisonnement, un sol qui possède une C.É.C. de 6,2 à 15,4 méq/100 g dans cette même couche serait considéré comme légèrement sensible. Au-delà de la valeur supérieure, il ne serait pas sensible, mais en bas du seuil inférieur, il se classerait définitivement comme sensible.

Toutefois, la C.É.C. à elle seule ne donne pas le tableau complet du pouvoir tampon du sol, lequel est positivement relié aux bases échangeables, plus les bases contenues dans la solution du sol, plus les bases qui pourraient être libérées de la phase solide du sol. Dans un sol en place (naturel), ces trois éléments sont en équilibre comme l'illustre la relation suivante:

Bases échangeables ⟷ Bases en solution ⟷ Bases contenues dans les solides du sol

À toutes fins pratiques, le pouvoir tampon d'un sol peut plus facilement s'évaluer d'après les bases échangeables, d'une part parce que les quantités de bases présentes dans la solution du sol à un moment donné sont relativement faibles par rapport aux bases échangeables et, d'autre part, parce que la libération des bases à partir de la phase solide est lente (sauf dans les sols calcaires).

La C.É.C. correspond au pouvoir tampon du sol quand elle égale la concentration en bases échangeables, ce qui se produit rarement dans la plupart des sols acides. Par exemple, un sol de pH 4,5 (dans l'eau) peut accuser une C.É.C. de 20 méq/100 g et pourtant n'être saturé en bases qu'à seulement 20%. Autrement dit, son pouvoir tampon n'est pas de 20 méq/100 g, mais de 4 méq seulement. Ce sol serait donc classé comme sensible aux précipitations acides alors que d'après la C.É.C. seule, il passerait pour non sensible.

ÉVALUATION DE LA TENEUR EN BASES ÉCHANGEABLES

Dans un sol de surface calcaire (contenant des carbonates libres), les concentrations en bases échangeables sont fortes par rapport à la C.É.C., et la phase solide peut facilement libérer des bases. Aussi, quelle que soit la C.É.C., on peut supposer que le pouvoir tampon de l'acidité dans ce type de sol est supérieur à 15 méq/100 g et le sol peut donc être considéré comme non sensible aux précipitations acides.

À l'opposé, dans un sol de surface non calcaire (ne contenant pas de carbonates libres), les concentrations en bases échangeables sont déterminées essentiellement par la C.É.C. et

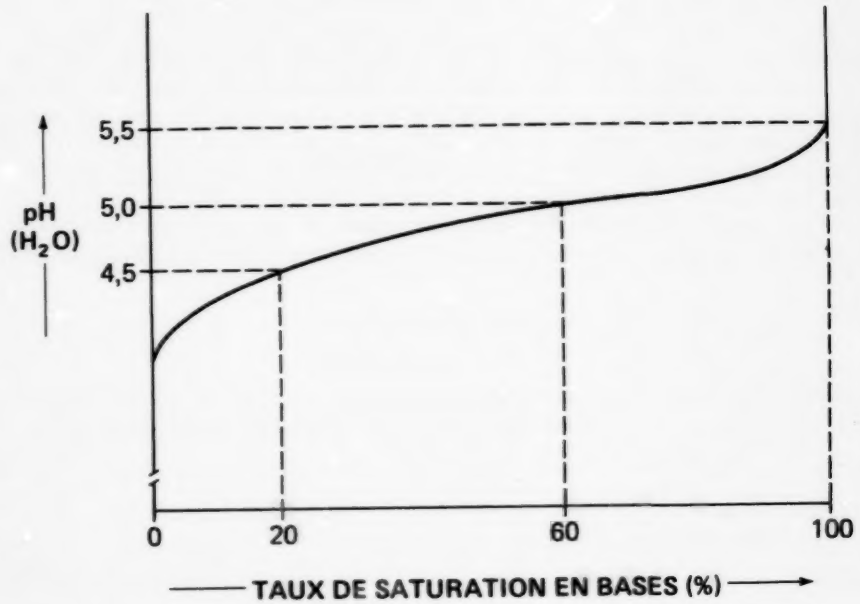
par la réaction du sol (pH). La C.É.C. est gouvernée surtout par la proportion et le type de particules argileuses et par la matière organique et, en plus, dans n'importe quel sol, la C.É.C. est reliée au pH. Dans l'écart de pH de 5,5 à 7,0 (dans l'eau), la C.É.C. est positivement corrélée au pH (Buckman et Brady, 1969). La pente de la corrélation linéaire, cependant, varie d'un sol à l'autre, ce qui vient compliquer la prédiction des bases échangeables dans les sols non calcaires. Néanmoins, on a retenu les hypothèses suivantes de façon à pouvoir estimer la teneur en bases des sols et, de là, délimiter des classes de sensibilité.

1) La composition minéralogique de l'argile des sols de surface dans l'est du Canada est relativement uniforme. Presque tous les sols contiennent un mélange d'argile (Kodama, 1979) où dominent la vermiculite, mêlée d'un peu de mica et les intermédiaires vermiculite-mica. Quelques sols de surface révèlent aussi d'importantes proportions de smectite. Ils contiennent toujours du quartz et des feldspaths.

2) La teneur moyenne en matière organique des sols de surface, considérée sur de grands morceaux de territoire, varie relativement peu dans la plus grande partie des terres agricoles de l'est du Canada. En revanche, les écarts observés entre plusieurs échantillons d'une même surface sont parfois très grands. À l'échelle de 1/5 000 000, celle qu'on utilise dans la carte ci-jointe, la superficie minimum identifiable (5 mm x 5 mm) est de 62 500 ha, de sorte qu'on peut supposer sans risque d'erreur que dans des blocs de cette étendue, la teneur moyenne en matière organique ne varie pas sensiblement. De plus, une portion de la variation observée d'un bloc à l'autre tient à des différences de texture. La matière organique diminue en général à mesure que la texture devient plus grossière (en passant de l'argile au sable). Comme, toutefois, la granulométrie est l'un des critères retenus pour estimer le pouvoir des bases échangeables dans le sol, les incidences de cette variabilité de la teneur en matière organique selon la texture sont négligeables.

Ces deux hypothèses admises, les variables utilisées pour l'estimation des bases échangeables sont la texture (essentiellement la teneur en argile) et le pH. La première sert à estimer la C.É.C., tandis que la seconde donne le taux de saturation en bases, et le produit de la C.É.C. par le taux de saturation constitue une mesure des bases échangeables du sol. Le rapport obtenu entre le pH et le taux de saturation (voir la figure) montre que dans l'étroit écart de pH allant de 4,5 à 5,5, le taux de saturation passe de 20 à 100%. En bas de pH 4,5, il tombe rapidement et à pH 5,5 et au-delà, il est de 100%.

La C.É.C. s'accroît avec le pH entre 5,5 et 7,0, à cause de ce qu'on appelle la <<capacité d'échange liée au pH>>. Autrement dit, à un pH supérieur à 5,5, même si le taux de saturation demeure à 100% (voir la figure), les bases échangeables augmentent effectivement avec le pH par suite de l'accroissement de la C.É.C.



Rapport entre le pH du sol (dans l'eau) et le taux de saturation en bases

GUIDE D'ÉTABLISSEMENT SUR LE TERRAIN DES CLASSES DE SENSIBILITÉ

Le chapitre qui précède explique comment les caractères pédologiques mesurés sur le terrain, comme la granulométrie et le pH (dans l'eau), peuvent servir à estimer les quantités de bases échangeables. Nous verrons maintenant comment utiliser ces caractères pour classer les sols selon leur sensibilité à l'action prolongée des précipitations acides.

Les sols de surface des terres agricoles non calcaires peuvent se diviser en quatre classes selon le pH dans l'eau: plus de 5,5, de 5,5 à 5,0, de 5,0 à 4,5 et moins de 4,5. Ce choix s'appuie sur les raisons suivantes: à pH 5,5 et au-delà, le complexe absorbant du sol est ordinairement saturé de bases échangeables (voir la figure); à pH 5,0, le taux de saturation

est d'environ 60% et à pH 4,5 il n'est plus que de 20%. Suivant la proportion d'argile, les sols se subdivisent ensuite en trois catégories: sableux, avec moins de 10% d'argile, loameux, 10 à 35% d'argile et argileux, plus de 35% d'argile. Ces termes et définitions sont ceux qu'on emploie couramment dans les travaux et les rapports d'études du sol, et les classes ainsi déterminées sont assez larges pour pouvoir s'apprécier sur le terrain par simple pétrissage à la main. Pour la plupart des sols de surface en culture, la C.É.C. (charge permanente) selon les classes granulométriques s'établit comme suit: sol argileux, 25 à 40 méq/100 g de sol; loameux, 10 à 25 méq/100 g et sableux, 2 à 10 méq/100 g. Si maintenant on combine les données consignées dans la figure avec l'information touchant le rapport entre la granulométrie et la C.É.C., on dispose d'un guide pour l'évaluation in situ de la sensibilité du sol aux précipitations acides (tableau 1). Par exemple, un sol loameux de pH allant de 5 à 5,5 aurait au moins de 6 méq de bases échangeables par 100 g (60% de 10 méq C.É.C.) et passerait alors comme moyennement sensible.

TABLEAU 1 Guide de terrain pour la détermination de la sensibilité du sol aux précipitations acides

Classe de sensibilité	Caractères pédologiques*
Non sensible	Tous les sols calcaires Argileux, pH plus de 5,0 Loameux, pH plus de 5,5
Moyennement sensible	Sableux, pH plus de 5,5 Argileux, pH 4,5 à 5,0 Loameux, pH 5,0 à 5,5
Sensible	Argileux, pH moins de 4,5 Loameux, pH moins de 5,0 Sableux, pH moins de 5,5

* Dans la couche arable (15 premiers centimètres). On suppose aussi qu'il n'y a pas de chaulage régulier. Le pH du sol est mesuré dans l'eau.

RÉALISATION DE LA CARTE

L'information nécessaire à la préparation de la carte a été obtenue des sources suivantes:

SISCan*

a) Information cartographique levée à l'échelle de 1/5 000 000 touchant la classification des sols, le pH du sous-sol et la granulométrie du matériau originel.

b) Information ponctuelle (description d'un profil et les données analytiques connexes, qui ont rapport à un point indiqué sur une carte et non à une superficie) sur la texture, le pH de surface, la teneur en matière organique et la minéralogie de l'argile. Il y a relativement peu de descriptions de profils pour les sols cultivés.

Rapports d'études publiés de façon formelle ou provisoire

Information cartographique détaillée sur la texture de surface et la classification des sols, de même que quelques renseignements cartographiques sur le pH de surface. Un bon nombre des rapports contenaient en outre de l'information ponctuelle sur la C.É.C. et les bases échangeables.

Laboratoires provinciaux d'analyse de sol

Les valeurs moyennes de pH des terres agricoles, par comté, étaient disponibles dans les provinces d'Ontario, Québec, Nouvelle-Écosse, Nouveau-Brunswick et Île-du-Prince-Édouard.

La démarche suivie comprend les étapes suivantes:

1. SISCan a fourni un fond pédologique à l'échelle de 1/5 000 000 portant des délimitations basées sur la texture du matériau originel des terres cultivées de l'est du Canada.

---

* Système d'informatique des sols canadien, mis au point et exploité par l'Institut de recherches sur les terres, Agriculture Canada, Ottawa.

2. Le tracé des limites est confronté avec les rapports d'études de sol et les renseignements d'ordre ponctuel fournis par SISCan.
3. La texture de la couche arable a été déterminée essentiellement à partir de la texture de surface indiquée sur les cartes pédologiques existantes. Quand ces cartes n'existaient pas, on a eu recours à la texture du matériau originel.
4. Pour les étapes 2 et 3, le tracé des limites des classes de texture de la surface a été réalisé soit en fragmentant, soit en combinant les délimitations portées sur la carte de texture du matériau originel.
5. Chaque délimitation de la carte de texture de surface a été affectée d'une valeur de pH de surface correspondant au pH moyen des terres agricoles par comté (données des laboratoires provinciaux). Dans les régions pour lesquelles il n'y avait pas de données analytiques, on a utilisé des données de l'ordre ponctuel obtenues de SISCan et des rapports d'études de sol pour estimer le pH du sol de surface.
6. À partir de l'information sur la texture et le pH de la couche de surface (ou couche arable) obtenue dans chaque délimitation, des classes de sensibilité ont été attribuées à chaque unité cartographique selon les instructions exposées au tableau 1.

DISCUSSION

Les renseignements d'ordre général contenus dans la carte sont résumés au tableau 2. À l'exception de l'Île-du-Prince-Édouard, une bonne partie des terres agricoles de l'est du Canada peut être considérée comme non sensible aux précipitations acides.

Cette étude ne tenait pas compte des pratiques de gestion du sol utilisées couramment. Dans les terres bien conduites, l'exploitant épand de la chaux de temps en temps pour conserver le pH voulu, de sorte que l'acidité apportée par les précipitations est généralement d'importance négligeable en regard de la quantité de chaux utilisée.

Les sols sableux, qu'on affecte souvent à la culture du bleuet, de la fraise, du tabac et de la pomme de terre, peuvent être vulnérables aux précipitations acides à cause de leur pouvoir tampon relativement faible et de leur pH peu élevé. Ces sols requièrent donc une gestion particulièrement attentive.

La fumure azotée est souvent une source d'acidification pour le sol (Penny et Henry, 1976), et cela à des taux qui peuvent atteindre le décuple de l'acidité déposée par les précipitations. Par conséquent, le risque d'acidification dans les sols sensibles

TABLEAU 2 Superficie de chaque classe de sensibilité dans les terres agricoles* de l'est du Canada

	Terres agricoles totales*	Surfaces sensibles		Surfaces moyennement sensibles		Surfaces non-sensibles	
	ha	ha	%	ha	%	ha	%
Terre-Neuve	29 423	4 660	15,8	5 885	20,0	18 878	64,2
Nouvelle-Écosse	400 249	16 290	4,1	72 008	18,0	311 951	77,9
Île-du-Prince-Édouard	278 050	215 443	77,5	62 607	22,5	Nul	0
Nouveau-Brunswick	402 328	38 652	9,6	136 724	34,0	226 952	56,4
Québec	3 654 134	916 666	25,1	125 313	3,4	2 612 155	71,5
Ontario	5 966 816	561 728	9,4	1 012 734	17,0	4 392 354	73,6
Total: est du Canada	10 731 000	1 753 439	16,3	1 415 271	13,2	7 562 290	70,5

*Terres agricoles améliorées, recensement de 1976.

est plus fort si l'on pratique une fumure azotée intensive. Par exemple, presque toutes les terres à pomme de terre de l'Île-du-Prince-Édouard sont sur sol sableux non calcaire et reçoivent d'abondants apports de fertilisants azotés. Elles exigent donc un chaulage judicieux pour demeurer au pH voulu, sans quoi leurs réserves en bases échangeables s'épuiseront et leur productivité s'en ressentira par manque d'éléments nutritifs.

L'échelle de 1/5 000 000 interdit toute autre interprétation de la carte que pour des territoires d'assez vaste étendue. Elle ne doit absolument pas être appliquée à une ferme en particulier. Si l'on veut caractériser de petites surfaces ou même une ferme quant à la sensibilité aux précipitations acides, on peut en estimer la classe en se guidant sur le tableau 1, après avoir évalué à la main la texture du sol et mesuré le pH (dans l'eau).

L'acidification des sols ne provient pas seulement des fertilisants chimiques ou des pluies acides. Il y a encore l'acide carbonique dégagé par les racines des plantes, les acides organiques produits par la décomposition de la matière organique dans le sol et la nitrification dans les champs en jachère (Bache, 1979).

La plupart des terres agricoles de l'est du Canada semblent posséder un pouvoir tampon élevé. Néanmoins, il est important d'observer un bon programme de chaulage pour conserver le pH à un niveau optimal pour les cultures pratiquées et pour enrayer l'acidification du sol de quelque source qu'elle provienne.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier très sincèrement MM. McKeague, Halstead et Singh de la Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, pour les avis éclairés qu'ils ont apportés à la rédaction de ce mémoire. Nous remercions aussi Mme Lendvay-Zwickl et M. Leuty qui nous ont communiqué l'information du fichier SISCan, et enfin MM. Beke, MacDougall et Cossette des services de pédologie du Canada, ainsi que les laboratoires provinciaux d'analyse des sols de l'Île-du-Prince-Édouard, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, du Québec et de l'Ontario, dont nous avons obtenu des données sur le pH de surface des terres agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

Bache, B.W., The acidification of soils, dans T.C. Hutchinson, éditeur, Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems, congrès de l'Institut des recherches de l'OTAN, Toronto, Canada, 1979, p. 183-202.

Buckman, H.O. et Brady, N.C., The nature and properties of soils, 7e édition, The Macmillan Company, N.Y., 1969.

Forest Service, Workshop report on acid precipitation and the forest ecosystem, rapport technique général n° NE-26 des services forestiers, ministère de l'Agriculture des États-Unis, 1976.

Glass, N.R., Glass, G.E. et Rennie, P.J., Effects of acid precipitation in North America, Environ. Sci. Technol., 13(11):1350-1355, 1979.

Glass, G.E. et Loucks, O.L., Impacts of air pollutants on wilderness areas of northern Minnesota, série sur les recherches écologiques, Agence de la protection de l'environnement des États-Unis, en impression, 1980.

Kodama, H., Clay minerals in Canadian soils: their origin, distribution and alteration, Can. J. Soil Sci., 59:37-58, 1979.

Lee, J.J., Needly, G.D. et Perrigan, S.C., Sulfuric acid rain effects on crop yields and foliar injury rapport n° 600/3-80-016 de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis, 1980.

Lee, J.J. et Webber, D.E., Effects of sulfuric acid rain on two model hardwood forests, rapport n° 600/3-80-014 de l'Agence de protection de l'environnement des Étas-Unis, 1980.

McFee, W.W., Sensitivity of soil regions to long term acid precipitation, rapport n° 600/3-80-013 de l'Agence de protection de l'environnement des Étas-Unis, 1980.

Mohamed, M.E., Response of vegetable crops to acid rain under field and simulated conditions, thèse de doctorat (non publiée), université de Cornell, 1978.

Penney, D.C. et Henry, J.L., Reaction of fertilizer N with soil components, symposium sur l'azote dans l'Ouest canadien, atelier sur l'inventaire pédologique, Calgary, Alberta, janvier 1976, p. 275-298.

Rennie, P.J. et Halstead, R.L., The effects of sulfur on plants in Canada, dans Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment, Conseil national de recherche du Canada, N.R.C.C. n° 15015, 1977, p. 69 à 179.

Service de l'environnement atmosphérique, Résumé des données du CANSAP, Environnement Canada, Downsview, Ont., trimestriel, 1977-79.

Whelpdale, D.M., Regional-scale measurements of precipitation composition and deposition, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview, Ont., présenté à la conférence de l'O.M.M., Boulder, Colorado, U.S.A., du 20 au 24 août, 1979.

Whelpdale, D.M. et Galloway, J.N., An atmospheric sulphur budget for North America, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview, Ont., présenté à la conférence de l'O.M.M., Sofia, Bulgarie, du 1er au 4 octobre, 1979.